PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-186574
(43)Date of publication of application : 09.07.1999

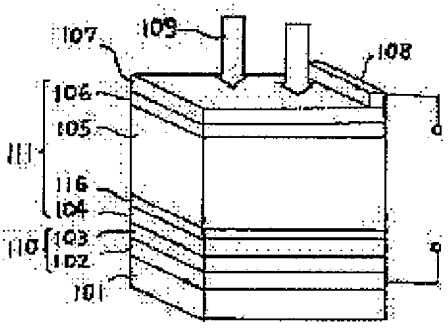
(51)Int.Cl. H01L 31/04

(21)Application number : 09-355155
(22)Date of filing : 24.12.1997

(71)Applicant : KANEGAFUCHI CHEM IND CO LTD
(72)Inventor : OKAMOTO KEIJI
YOSHIMI MASASHI

(54) SILICON-BASED THIN-FILM PHOTOELECTRIC CONVERTER

(57)Abstract:
PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a silicon thin-film photoelectric converter which can be improved in its photoelectric conversion characteristics by reducing crystal grains and within-grain defects in a crystalline silicon thin-film photoelectric conversion layer, formed with the use of a low-temperature process of a plasma CVD method.
SOLUTION: This silicon-based thin-film photoelectric converter includes at least one photoelectric conversion unit 111 formed on a substrate 101. The unit 111 includes a crystallite silicon semiconductor layer 104 of a first conductivity type, a silicon thin film photoelectric conversion layer 105 containing a crystalline material, and a silicon semiconductor layer 106 of a second conductivity type to this conductivity type, all sequentially formed as being laminated by a plasma CVD method. The unit 111 formed includes a silicon oxide thin film 116, which is provided between the semiconductor layer 104 and the photoelectric conversion layer 105 which make contact directly with the conversion layer 105.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.09.2002
[Date of sending the examiner's decision of rejection] 07.03.2006
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]
[Date of final disposal for application]
[Patent number]
[Date of registration]
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's

(19)日本国特許庁（ＪＰ）　(12)公開特許公報（Ａ）　(11)特許出願公開番号
特開平11－186574
(43)公開日　平成11年(1999)７月９日

(51)Int.Cl.[6]	識別記号	ＦＩ	
Ｈ０１Ｌ　31/04		Ｈ０１Ｌ　31/04	Ｂ

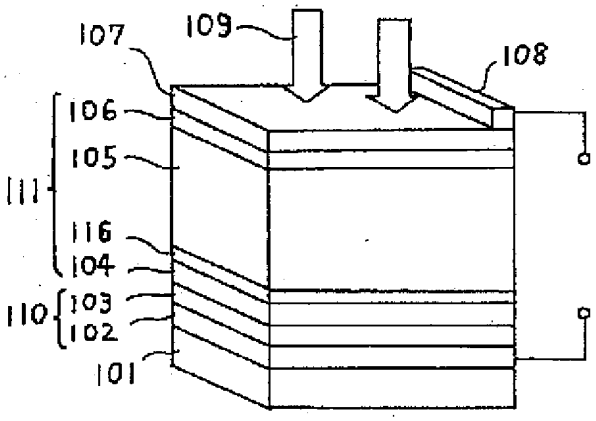
審査請求　未請求　請求項の数７　ＯＬ　（全７頁）

(21)出願番号　特願平9－355155
(22)出願日　平成９年(1997)12月24日

(71)出願人　000000941
鐘淵化学工業株式会社
大阪府大阪市北区中之島３丁目２番４号
(72)発明者　岡本　圭史
神戸市垂水区塩屋６－31－17　三青荘
(72)発明者　吉見　雅士
神戸市須磨区北落合１－１－324－403
(74)代理人　弁理士　深見　久郎　（外２名）

(54)【発明の名称】　シリコン系薄膜光電変換装置

(57)【要約】
【課題】　プラズマＣＶＤ法による低温プロセスを用いて形成される結晶質シリコン系薄膜光電変換層における結晶粒界や粒内欠陥を低減し、それによって光電変換特性が改善されたシリコン系薄膜光電変換装置を提供する。
【解決手段】　シリコン系薄膜光電変換装置は、基板（１０１）上に形成された少なくとも１つの光電変換ユニット（１１１）を含み、その光電変換ユニット（１１１）は、プラズマＣＶＤ法によって順次積層された１導電型微結晶シリコン系半導体層（１０４）と、結晶質を含むシリコン系薄膜光電変換層（１０５）と、逆導電型シリコン系半導体層（１０６）とを含み、１導電型微結晶半導体層（１０４）と結晶質光電変換層（１０５）との間にはシリコン系酸化薄膜（１１６）をさらに含みかつこのシリコン系酸化薄膜（１１６）が結晶質光電変換層（１０５）と直接接していることを特徴としている。



1

【特許請求の範囲】

【請求項１】　基板上に形成された少なくとも１つの光電変換ユニットを含み、

前記光電変換ユニットは、プラズマＣＶＤ法によって順次積層された１導電型シリコン系半導体層と、結晶質を含むシリコン系薄膜光電変換層と、逆導電型シリコン系半導体層とを含み、

前記１導電型半導体層と前記光電変換層との間にはシリコン系酸化薄膜をさらに含みかつこのシリコン系酸化薄膜が前記光電変換層と直接接していることを特徴とするシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項２】　前記シリコン系酸化薄膜の厚さが０．５～５０ｎｍの範囲内にあることを特徴とする請求項１に記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項３】　前記光電変換層は４００℃以下の下地温度のもとで形成されたものであり、８０％以上の体積結晶化分率と、０．１～３０原子％の範囲内の水素含有量と、０．５～２０μｍの範囲内の厚さとを有していることを特徴とする請求項１または２に記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項４】　前記光電変換層はその膜面に平行に（１１０）の優先結晶配向面を有し、そのＸ線回折における（２２０）回折ピークに対する（１１１）回折ピークの強度比が１／５以下であることを特徴とする請求項１から３のいずれかの項に記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項５】　前記シリコン系薄膜光電変換装置は前記基板上で前記光電変換ユニットと少なくとも１つの非晶質シリコン系光電変換ユニットを含むタンデム型であることを特徴とする請求項１から４のいずれかの項に記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項６】　前記シリコン系酸化薄膜は前記１導電型半導体層の表面を酸素含有気体に接触させることによって形成されたものであることを特徴とする請求項１から５のいずれかの項に記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【請求項７】　前記シリコン系酸化薄膜は、二酸化炭素と水蒸気の少なくとも一方を含む気体を用いたプラズマＣＶＤ法によって前記１導電型半導体層の表面を酸化することによって形成されたものであることを特徴とする請求項１から５のいずれかの項に記載のシリコン系薄膜光電変換装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】本発明は薄膜光電変換装置に関し、特に、シリコン系薄膜光電変換装置の性能改善に関するものである。

【０００２】

【従来の技術】近年、たとえば多結晶シリコンや微結晶シリコンのような結晶質シリコンを含む薄膜を利用した

2

光電変換装置の開発が精力的に行なわれている。これらの開発は、安価な基板上に低温プロセスで良質の結晶質シリコン薄膜を形成することによって光電変換装置の低コスト化と高性能化を両立させようという試みであり、太陽電池だけでなく光センサ等の様々な光電変換装置への応用が期待されている。

【０００３】このような良質の結晶質シリコン薄膜を形成する方法としては、基板上に大結晶粒径のシリコン薄膜の下地層を何らかのプロセスで形成した後に、この下地層をシード層または結晶化制御層として用いることによって、結晶粒界や粒内欠陥が少なくて一方向に強く結晶配向した良質の光電変換層となる結晶質シリコン薄膜をその下地層上に堆積させるという手法が知られている。より具体的には、基板上に堆積されたシリコン膜をゾーンメルト法によって大結晶粒径化したものを下地層に用いる方法がSolar Energy Materials and Solar Cells, Vol.34, 1994, p.285 に記載されており、また、基板上に堆積されたシリコン膜を固相成長法によって大粒径化したものを下地層に用いる方法がSolar Energy Materials andSolar Cells, Vol.34, 1994, p.257 に記載されている。しかし、これらのいずれにおいても、下地層または光電変換層の形成に５００℃以上の比較的に高温度のプロセスを含んでいることから、用いられ得る基板の種類に制約がある。

【０００４】また、結晶質シリコン系光電変換層の下地層として非晶質シリコン系薄膜を用いた光電変換装置が、特開平７－２６３７３２に記載されている。この非晶質シリコン系薄膜は基板材料と結晶質シリコン系薄膜との熱膨張係数の相違による歪を緩和させることを目的としているが、この技術も５００℃以上の高温度のプロセスにおける熱応力に対処するために必要とされるものであり、また、このような形成方法によって高い光電変換特性が得られたという事例は未だ存在していない。

【０００５】他方、安価な低融点ガラスの基板を用いることができかつ熱膨張係数の差異に基づく積層膜内の応力や歪が生じにくい比較的低温のプロセスのみを用いる方法であって、優れた光電変換効率の結晶質シリコン系薄膜光電変換装置を形成し得る方法が近年脚光を浴びている。たとえば、微結晶シリコンのｐｉｎ接合からなる光電変換ユニットを含む光電変換装置がAppl. Phys. Lett., Vol. 65, 1994, p. 860に記載されている。この光電変換ユニットは、簡便にプラズマＣＶＤ法で順次積層されたｐ型半導体層、光電変換層たるｉ型半導体層およびｎ型半導体層からなり、これらの半導体層のすべてが微結晶シリコンであることを特徴としている。

【０００６】

【発明が解決しようとする課題】光電変換ユニットを構成するシリコン系薄膜のすべてを低温プロセスのみで形成しようとする場合、光電変換層のための下地層として、シード層となり得る大粒径結晶質シリコン薄膜を形

3

成することは非常に困難である。しかしながら、上述の先行技術中で、微結晶シリコンのｐｉｎ接合をプラズマＣＶＤ法にて低温で形成する光電変換ユニットでは、導電型微結晶シリコンが光電変換層の下地層となっているものの、これは単に光電変換層との材料的類似性を考慮したものであって、光電変換層の結晶性を積極的に制御しようとするためのものではない。また、この下地層の導電型微結晶シリコン膜は小粒径の結晶シリコンが多数存在する膜であるので、この上に形成される結晶質シリコン系光電変換層はその成長初期過程で多数の結晶核を生じ、結果として光電変換特性に悪影響を及ぼす結晶粒界や粒内欠陥の多い膜になりやすいという問題がある。

【０００７】本発明の目的は、上述のような先行技術の課題に鑑み、安価な基板が使用可能な低温プロセスのみを用いて形成されるシリコン系光電変換装置において、結晶質シリコン系薄膜光電変換層中の結晶粒界や粒内欠陥を低減させて光電変換特性を改善することにある。

【０００８】

【課題を解決するための手段】本発明によるシリコン系薄膜光電変換装置は、基板上に形成された少なくとも１つの光電変換ユニットを含み、その光電変換ユニットは、プラズマＣＶＤ法によって順次積層された１導電型半導体層と、結晶質を含むシリコン系薄膜の光電変換層と、逆導電型半導体層とを含み、１導電型半導体層と光電変換層との間にはシリコン系酸化薄膜をさらに含みかつこのシリコン系酸化薄膜が光電変換層と直接接していることを特徴としている。

【０００９】すなわち、本発明者らは、上述の先行技術における課題を解決すべく検討を重ねた結果、光電変換ユニットに含まれる半導体層のすべてをプラズマＣＶＤ法にて低温で形成するシリコン系薄膜光電変換装置の場合に、光電変換層の下地となる導電型層とその光電変換層との界面にごく薄いシリコン系酸化薄膜を導入することにより、結晶質シリコン系光電変換層の結晶核発生の要因となる小粒径の結晶シリコンの密度を適度に抑制し、すなわち光電変換層の成長初期過程における結晶核発生密度を適度に抑制することにより、結晶粒界や粒内欠陥が少なくかつ一方向に強く結晶配向した良質の光電変換層が得られることを見出したのである。

【００１０】

【発明の実施の形態】図１は、本発明の第１の実施の形態によるシリコン系薄膜光電変換装置を模式的な斜視図で図解している。この装置の基板１０１には、ステンレス等の金属、ポリイミド等の低膨張率を有する有機フィルム、または低融点の安価なガラス等が用いられ得る。

【００１１】基板１０１上の電極１１０は、下記の薄膜（Ａ）と（Ｂ）のうちの１以上を含み、たとえば蒸着法やスパッタ法によって形成され得る。なお、図１において光１０９は上方から入射されるように描かれているが、これは下方から入射されるようにされてもよいことは言うまでもなく、その場合には、電極１１０は金属薄膜を含まない。

（Ａ）　Ｔｉ、Ｃｒ、Ａｌ、Ａｇ、Ａｕ、ＣｕおよびＰｔから選択された少なくとも１以上の金属またはこれらの合金からなる金属薄膜。

（Ｂ）　ＩＴＯ、SnO_2 およびＺｎＯから選択された少なくとも１以上の酸化物からなる透明導電性薄膜。

【００１２】電極１１０上には光電変換ユニット１１１のうちの１導電型半導体層１０４がプラズマＣＶＤ法にて堆積される。この１導電型半導体層１０４としては、たとえば導電型決定不純物原子であるリンが０．０１原子％以上ドープされたｎ型微結晶シリコン層、またはボロンが０．０１原子％以上ドープされたｐ型微結晶シリコン層などが用いられ得る。しかし、１導電型半導体層１０４に関するこれらの条件は限定的なものではなく、不純物原子としてはたとえばｐ型微結晶シリコンにおいてはアルミニウム等でもよく、また微結晶シリコンカーバイドや微結晶シリコンゲルマニウム等の合金材料の層を用いてもよい。導電型微結晶シリコン系薄膜１０４の厚さは３～１００ｎｍの範囲内に設定され、より好ましくは５～５０ｎｍの範囲内に設定される。

【００１３】１導電型微結晶層１０４上には、本発明の最も重要な特徴であるところのシリコン系酸化薄膜１１６が形成される。このシリコン系酸化薄膜１１６の厚さは、経験上から、０．５～５０ｎｍの範囲内にあることが好ましく、０．１～５ｎｍの範囲内にあることがさらに好ましい。このようなシリコン系酸化薄膜１１６の形成方法としては、いくつかの方法が可能である。たとえば、１導電型微結晶層１０４の表面を酸素含有気体に曝露させて酸化する方法や、プラズマＣＶＤ法を用いて酸化させる方法が可能である。

【００１４】１導電型微結晶層１０４の表面を酸素含有気体に曝露する場合、その酸素含有気体としては、酸素単独、窒素等の不活性ガスと酸素との混合気体、または乾燥空気などを用いることができる。酸素とシリコンの親和力は非常に強くかつ１導電型層１０４が少なくともシリコンを含んでいるので、これらの気体に１導電型層１０４の表面を数秒から数時間の範囲内で曝露することにより、１導電型層１０４の表面が酸化されてシリコン系酸化薄膜１１６が形成される。この適用し得る曝露時間の幅が広いのは、シリコン表面は酸素に触れれば瞬時に酸化されるが、その酸化膜は緻密であって内部への酸素の拡散を著しく制限するからである。したがって、この曝露時間はかなり長くてもよいが、あまりに長くすれば１導電型層１０４自体に欠陥を生じたりピンホールを生じる恐れがある。

【００１５】また、酸素含有気体に曝露させるときの温度は通常簡便に得られる温度でよく、その温度が高すぎれば１導電型層１０４や裏面電極１１０が劣化することがある。したがって、具体的には曝露温度として液体窒

5

素温度から１導電型層１０４の形成温度までの範囲内であればよいが、０℃から１導電型微結晶層の形成温度までの範囲内にあることがより好ましい。より具体的には、曝露温度が室温の場合には、曝露時間は１秒から２０時間の範囲内であることが好ましく、１０秒から３時間の範囲内にあることがより好ましい。

【００１６】他方、二酸化炭素、または窒素等の不活性ガスと二酸化炭素との混合気体を雰囲気として用いるプラズマＣＶＤ法によって１導電型層１０４の表面を酸化させる場合には、プラズマ曝露時間は数分以内でよい。すなわち、曝露時間は１０秒から１０分までの範囲内が好ましく、３０秒から３分までの範囲内がより好ましい。プラズマＣＶＤ法を用いる場合にも、曝露温度は液体窒素温度から１導電型層１０４の形成温度までの範囲内にあればよいが、０℃から１導電型層１０４の形成温度までの範囲内にあることがより好ましい。また、プラズマガス圧としては、０．１Ｔｏｒｒから１気圧までの範囲内で任意の圧力を用いることができるが、０．１～１０Ｔｏｒｒの範囲内の圧力がより好ましい。

【００１７】なお、乾燥空気やその他の酸素含有気体に１導電型層１０４の表面を曝露することによってシリコン系酸化薄膜１１６を形成する方法では、簡便な方法でコストが安いという利点が得られる。他方、プラズマＣＶＤ法を用いて１導電型層１０４の表面を酸化させる方法では、処理時間の管理が簡単であり、シリコン系酸化薄膜１１６の特性についてバッチ間のばらつきが小さいという利点が得られる。

【００１８】シリコン系酸化薄膜１１６上には、光電変換層１０５として、結晶質を含むシリコン系薄膜がプラズマＣＶＤ法によって４００℃以下の下地温度のもとで形成される。この光電変換層１０５としては、ノンドープのｉ型多結晶シリコン薄膜や体積結晶化分率８０％以上のｉ型微結晶シリコン薄膜、あるいは微量の不純物を含む弱ｐ型または弱ｎ型で光電変換機能を十分に備えている結晶質シリコン系薄膜が使用され得る。また、光電変換層１０５はこれらに限定されず、合金材料であるシリコンカーバイドやシリコンゲルマニウム等の膜を用いてもよい。

【００１９】光電変換層１０５の膜厚は０．５～２０μｍの範囲内で、より好ましくは１～１０μｍの範囲内に設定され、結晶質を含むシリコン系薄膜光電変換層として必要かつ十分な厚さである。光電変換層１０５は４００℃以下という低温で形成されるので、結晶粒界や粒内における欠陥を終端または不活性化させる水素原子を多く含み、その好ましい水素含有量は０．１～３０原子％の範囲内であり、より好ましくは１～２０原子％の範囲内にある。

【００２０】シリコン系薄膜光電変換層１０５に含まれる結晶粒の多くは、下地層から上方に柱状に延びて成長している。それらの多くの結晶粒は膜面に平行に（１１０）の優先結晶配向面を有し、Ｘ線回折で求めた（２２０）回折ピークに対する（１１１）回折ピークの強度比は１／５以下であり、１／１０以下であることがより好ましい。

6

【００２１】光電変換層１０５を形成する前に本発明の重要な特徴であるところのシリコン系酸化薄膜１１６を形成した場合、その酸化薄膜１１６を形成しない場合に比べて、光電変換層１０５中における（１１０）面配向が顕著になり、結晶粒度も大きくなる。すなわち、光電変換層１０５からのＸ線回折において、（２２０）面反射ピークが高くかつその半値幅が狭くなる。

【００２２】なお、上述のように１導電型層１０４の表面にシリコン系酸化薄膜１１６を形成してその上に光電変換層１０５を堆積させた場合にその光電変換層１０５の結晶構造が著しく改善されるが、現時点においてその理由は必ずしも明らかではない。また、シリコン系酸化膜は典型的な絶縁膜として知られているが、本発明者たちはこの酸化膜が本発明による光電変換装置内の電流を阻害しないことをも経験的に見出した。これは、酸化膜が極めて薄いために光電変換層１０５を堆積した後には酸化薄膜１１６が編み目状の構造になっているために電流が流れ得ると考えるか、またはその酸化膜が極めて薄いことによるトンネル効果によって電流が流れ得ると考えることもできるが、現時点においてはその理由も必ずしも明らかではない。

【００２３】光電変換層１０５上には、一導電型層１０４とは逆タイプの導電型半導体層１０６がプラズマＣＶＤ法によって堆積される。この逆導電型層１０６としては、たとえば導電型決定不純物原子であるボロンが０．０１原子％以上ドープされたｐ型の非晶質もしくは微結晶のシリコン層またはそれらの重複層あるいはリンが０．０１原子％以上ドープされたｎ型の非晶質もしくは微結晶のシリコン層またはそれらの重複層などが用いられ得る。しかし、逆導電型半導体層１０６についてのこれらの条件は限定的なものではなく、不純物原子としてはたとえばｐ型シリコンにおいてはアルミニウム等でもよく、またシリコンカーバイドやシリコンゲルマニウム等の合金材料の層を用いてもよい。なお、逆導電型半導体層１０６として非晶質シリコン系層が用いられる場合には、その厚さは１～５０ｎｍの範囲内にあることが好ましく、２～３０ｎｍの範囲内にあることがさらに好ましく、また、微結晶シリコン系層が用いられる場合には、その厚さは３～１００ｎｍの範囲内にあることが好ましく、５～５０ｎｍの範囲内にあることがさらに好ましい。

【００２４】光電変換ユニット１１１上には、ＩＴＯ、SnO_2、ＺｎＯ等から選択された少なくとも１以上の層からなる透明導電性酸化膜１０７と、さらにこの上にグリッド電極としてＡｌ、Ａｇ、Ａｕ、Ｃｕ、Ｐｔ等から選択された少なくとも１以上の金属またはこれらの合

金の層を含む櫛形状の金属電極１０８とがスパッタ法または蒸着法により形成され、これによって図１に示されているような光電変換装置が完成する。なお、図１において光１０９は上方から入射されるように描かれているが、これは下方から入射されてもよいことはいうまでもなく、その場合には、金属電極１０８は櫛形状である必要はなく、また、透明導電性酸化膜１０７を省略して逆導電型層１０６を覆うように形成されてもよい。

【００２５】図３は、本発明の第２の実施の形態によるタンデム型シリコン系薄膜光電変換装置を模式的な斜視図で図解している。図３のタンデム型光電変換装置においては、図１の場合と同様に基板３０１上の複数の層３０２～３０６が、図１の基板１０１上の複数の層１０２～１０６にそれぞれ対応して同様に形成される。

【００２６】しかし、図３のタンデム型光電変換装置においては、第１の光電変換ユニット３１１上に重ねて第２の光電変換ユニット３１２がさらに形成される。第２の光電変換ユニット３１２は、第１の光電変換ユニット３１１上にプラズマＣＶＤ法で順次積層された１導電型の微結晶または非晶質のシリコン系薄膜３１３、実質的にｉ型の非晶質シリコン系薄膜光電変換層３１４、および逆導電型の微結晶または非晶質のシリコン系薄膜３１５を含んでる。

【００２７】第２の光電変換ユニット３１２上には、透明電極３０７および櫛形状金属電極３０８が図１中の対応する要素１０７および１０８と同様に形成され、これによって図３のタンデム型光電変換装置が完成する。

【００２８】また、本発明のさらに他の実施の形態による光電変換装置として、結晶質光電変換層を含む光電変換ユニットと非晶質光電変換層を含む光電変換ユニットとの少なくとも一方のユニットを複数含む多段のタンデム型光電変換装置も可能であることはいうまでもない。

【００２９】

【実施例】以下において、本発明のいくつかの実施例によるシリコン系薄膜光電変換装置としてのシリコン系薄膜太陽電池が、比較例による太陽電池とともに説明される。

【００３０】（比較例１）図２に示されているような多結晶シリコン薄膜太陽電池が、比較例１として作製された。まず、ガラス基板２０１上に、裏面電極２１０として、厚さ３００ｎｍのＡｇ膜２０２とその上の厚さ１００ｎｍのＺｎＯ膜２０３のそれぞれがスパッタ法にて形成された。裏面電極２１０上には、厚さ３０ｎｍでリンドープされたｎ型微結晶シリコン層２０４、厚さ３μｍでノンドープの多結晶シリコン光電変換層２０５、および厚さ１５ｎｍでボロンドープされたｐ型微結晶シリコン層２０６がそれぞれプラズマＣＶＤ法により成膜され、ｎｉｐ光電変換ユニット２１１が形成された。光電変換ユニット２１１上には、前面電極２０７として、厚さ８０ｎｍの透明導電性ＩＴＯ膜がスパッタ法にて堆積

され、その上に電流取出のための櫛形Ａｇ電極２０８が蒸着法にて形成された。

【００３１】ｎ型微結晶シリコン層２０４は、ＲＦプラズマＣＶＤ法により、以下に示す条件にて堆積された。すなわち、反応ガスの流量としてはシランが５ｓｃｃｍ、水素が２００ｓｃｃｍ、そしてホスフィンが０．０５ｓｃｃｍであり、反応室内圧力は１Ｔｏｒｒに設定された。また、ＲＦパワー密度は１５０ｍＷ／ｃｍ^2であり、成膜温度は２００℃であった。これと同一の成膜条件でガラス基板上に直接堆積した厚さ３００ｎｍのｎ型微結晶シリコン膜の暗導電率は、１０Ｓ／ｃｍであった。さらに、このｎ型微結晶シリコン層２０４上に形成される多結晶シリコン光電変換層２０５は、成膜温度２００℃のもとでＲＦプラズマＣＶＤ法により堆積された。多結晶シリコン光電変換層２０５において、２次イオン質量分析法から求めた水素含有量は５原子％であり、Ｘ線回折における（２２０）回折ピークに対する（１１１）回折ピークの強度比は１／４であった。

【００３２】この比較例１の太陽電池に入射光２０９としてＡＭ１．５の光を１００ｍＷ／ｃｍ^2の光量で照射したときの出力特性においては、開放端電圧が０．４６１Ｖ、短絡電流密度が２６．８ｍＡ／ｃｍ^2、曲線因子が７４．５％、そして変換効率が９．２％であった。

【００３３】（実施例１）図１の第１の実施の形態に対応して、実施例１としての多結晶シリコン薄膜太陽電池が作製された。この実施例１の太陽電池は、ｎ型微結晶シリコン層１０４と光電変換層１０５との間にシリコン酸化薄膜１１６を含んでいることのみにおいて、比較例１の太陽電池と異なっている。すなわち、実施例１による図１の太陽電池中のシリコン酸化薄膜１１６を除く他の要素１０１～１０８は、比較例１による図２の太陽電池中の要素２０１～２０８のそれぞれに対応した同じ方法と条件によって形成されたものである。

【００３４】図１中のシリコン酸化薄膜１１６は、ｎ型微結晶シリコン層１０４の表面を十分乾燥させた大気に１分間曝露させることによって形成された。このシリコン酸化薄膜の下地層１１６上に形成された多結晶シリコン光電変換層１０５において、２次イオン質量分析法から求めた水素含有量は比較例１とほぼ同じ５原子％であったが、Ｘ線回折における（２２０）回折ピークに対する（１１１）回折ピークの強度比は１／９に減少した。

【００３５】このような実施例１の太陽電池に入射光１０９としてＡＭ１．５の光を１００ｍＷ／ｃｍ^2の光量で照射したときの出力特性においては、開放端電圧が０．５３５Ｖ、短絡電流密度が２７．１ｍＡ／ｃｍ^2、曲線因子が７３．０％、そして変換効率が１０．４％であった。

【００３６】（実施例２）実施例２として作製された太陽電池は、シリコン酸化薄膜１１６が二酸化炭素雰囲気下で４０秒間のプラズマＣＶＤ反応によって形成された

ことのみにおいて実施例１と異なっている。この実施例２による多結晶シリコン光電変換層１０５において２次イオン質量分析法で求めた水素含有量は比較例１と同じ５原子％であったが、X線回折による（２２０）回折ピークに対する（１１１）回折ピークの強度比は１／９．５に減少した。

【００３７】この実施例２の太陽電池に入射光１０９としてAM１．５の光を１００mW／cm^2 の光量で照射したときの出力特性においては、開放端電圧が０．５３４V、短絡電流密度が２６．９mA／cm^2 、曲線因子が７３．３%、そして変換効率が１０．５%であった。

【００３８】（比較例２）図４に示されているようなタンデム型太陽電池が比較例２として作製された。この比較例２の太陽電池においては、要素４０１～４０６が比較例１の対応する要素２０１～２０６と同様に形成された。しかし、この比較例２においては、第１の光電変換ユニット４１１上に、さらに非晶質シリコン光電変換ユニット４１２が積層された。この第２の光電変換ユニット４１２は、それぞれが非晶質のｎ層４１３、ｉ層４１４、およびｐ層４１５を含んでいる。非晶質光電変換層４１４の厚さは、０．４μmにされた。このような第２の光電変換セル４１２上に前面透明電極４０７および櫛形金属電極４０８を比較例１の対応する要素２０７および２０８と同様に形成することによって、図４に示されているような比較例２のタンデム型太陽電池が作製された。

【００３９】このような比較例２による非晶質シリコン薄膜／多結晶シリコン薄膜型のタンデム型太陽電池に対して入射光４０９としてAM１．５の光を１００mW／cm^2 の光量で照射したときの出力特性においては、開放端電圧が１．３４V、短絡電流密度が１３．３mA／cm^2 、曲線因子が７３．３%、そして変換効率が１３．０%であった。

【００４０】（実施例３）図３の第２の実施の形態に対応して、実施例３としてタンデム型太陽電池が作製された。この実施例３のタンデム型太陽電池は、ｎ型微結晶シリコン層３０４と光電変換層３０５との間に実施例１のシリコン酸化薄膜１１６と同様に形成された２．７nm厚さのをシリコン酸化薄膜３１６を含んでいることのみにおいて、比較例２の太陽電池と異なっている。すなわち、実施例３による図３の太陽電池中のシリコン酸化薄膜３１６を除く他の要素３０１～３０８は、比較例２による図４の太陽電池中の要素４０１～４０８のそれぞれに対応した同じ方法と条件によって形成されたものである。

【００４１】この実施例３による非晶質シリコン薄膜／多結晶シリコン薄膜型のタンデム型太陽電池に対して入射光３０９としてAM１．５の光を１００mW／cm^2 の光量で照射したときの出力特性としては、開放端電圧が１．４１V、短絡電流密度が１３．６mA／cm^2 、

曲線因子が７４．１%、そして変換効率が１４．２%であった。

【００４２】（実施例４）実施例４として作製された太陽電池は、シリコン酸化薄膜３１６が実施例２のシリコン酸化薄膜１１６と同様に形成されたことのみにおいて実施例３と異なっている。

【００４３】このような実施例４の太陽電池に入射光３０９としてAM１．５の光を１００mW／cm^2 の光量で照射したときの出力特性においては、開放端電圧が１．４０V、短絡電流密度が１３．６mA／cm^2 、曲線因子が７４．６%、そして変換効率が１４．３%であった。

【００４４】

【発明の効果】以上のように、本発明によれば、結晶質を含むシリコン系光電変換層を高品質化することができ、それによってシリコン系薄膜光電変換装置の高性能化に大きく貢献することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の第１の実施の形態による結晶質シリコン系薄膜光電変換装置を示す模式的な斜視図である。

【図２】先行技術による比較例１としての結晶質シリコン系薄膜光電変換装置を示す模式的な斜視図である。

【図３】本発明の第２の実施の形態による非晶質／結晶質型のタンデム型シリコン系薄膜光電変換装置を示す模式的な斜視図である。

【図４】先行技術による比較例２としての非晶質／結晶質型のタンデム型シリコン系薄膜光電変換装置を示す模式的な斜視図である。

【符号の説明】

１０１、２０１、３０１、４０１：ガラス等の基板
１０２、２０２、３０２、４０２：Ａｇ等の膜
１０３、２０３、３０３、４０３：ＺｎＯ、ＩＴＯ等の膜
１０４、２０４、３０４、４０４：たとえばｎ型の１導電型微結晶シリコン層
１０５、２０５、３０５、４０５：結晶質シリコン光電変換層
１０６、２０６、３０６、４０６：たとえばｐ型の逆導電型微結晶シリコン層
１０７、２０７、３０７、４０７：ＩＴＯ，ＳｎＯ等の透明導電膜
１０８、２０８、３０８、４０８：Ａｇ等の櫛形電極
１０９、２０９、３０９、４０９：照射光
１１０、２１０、３１０、４１０：電極
１１１、２１１、３１１、４１１：結晶質シリコン光電変換ユニット
３１２、４１２：非晶質シリコン光電変換ユニット
３１３、４１３：たとえばｎ型の第１導電型シリコン系層
３１４、４１４：ｉ型の非晶質シリコン光電変換層

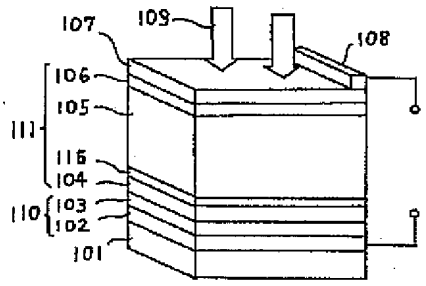
11

３１５、４１５：たとえばｐ型の逆導電型シリコン系層

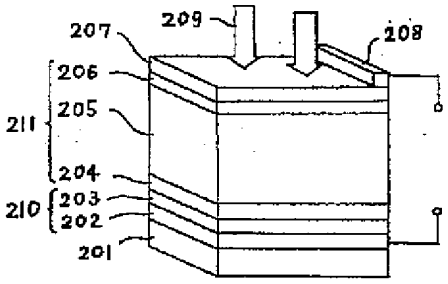
12

１１６、３１６：シリコン酸化薄膜

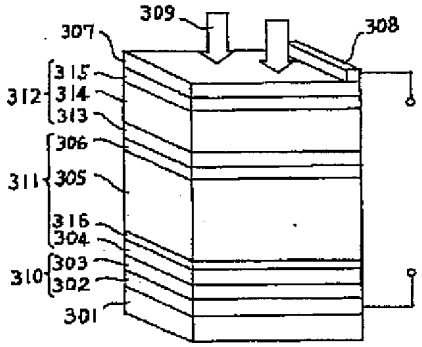
【図１】



【図２】



【図３】



【図４】

